Elettronica e telecomunicazioni

Anno LIX
Numero 3
Dicembre 2010

Editoriale

LeMiniSerie

ATLAS
La traduzione automatica nella Lingua dei Segni

L'acustica architettonica - Parte II
Parametri di progetto e scelta dei materiali

Elettronica e telecomunicazioni

La rivista è disponibile su web
alla URL www.crit.rai.it/eletel.htm

Anno LIX
N°3
Dicembre 2010

Rivista quadrimestrale a cura della Rai

Direttore responsabile
Gianfranco Barbieri

Indice

Editoriale

Gianfranco **Barbieri**
Direttore di
"Elettronica e Telecomunicazioni"

La comunicazione visiva dei sordi è nota sin dall'antichità: anche se le notizie su quello che allora veniva chiamato linguaggio mimico dei gesti sono molto frammentarie. I primi tentativi documentati di descrizione di un linguaggio dei segni risalgono invece al '700, ad opera di un educatore francese, l'Abbée de l'Epée, fondatore della Scuola di Parigi per sordi. Esistono altresì testimonianze che anche in Italia venisse usata nella prima metà dell'800 una lingua dei segni; con tale tecnica, la comunicazione avviene producendo quelli che a un profano possono sembrare dei comuni gesti, ma in realtà si tratta di segni (che a differenza dei gesti hanno uno significato codificato come i vocaboli della lingua parlata) compiuti con una o entrambe le mani, ad ognuno dei quali è assegnato uno o più significati; come avviene per il linguaggio parlato, ad ogni nazione corrisponde una sua lingua.

La Rai, da sempre impegnata in progetti di utilità sociale, è uno dei partner del progetto ATLAS cofinanziato dalla Regione Piemonte nell'ambito del quadro "Tecnologie convergenti - CIPE 2007". Il progetto mira a sviluppare strumenti a supporto della traduzione dalla lingua scritta italiana alla lingua dei segni italiana. In particolare, l'obiettivo concreto del progetto è lo sviluppo di un traduttore in grado di tradurre frasi dalla lingua italiana naturale nella corrispondente sequenza di segni, attraverso una traduzione intermedia in forma scritta della LIS (Lingua dei Segni Italiana).

L'articolo "ATLAS: Traduzione automatica nella Lingua dei Segni" fa seguito ad una precedente pubblicazione comparsa su questa rivista nell'agosto 2009. In esso vengono illustrate le finalità del progetto consistenti nello sviluppo di strumenti a supporto della traduzione dalla lingua scritta italiana alla lingua dei segni italiana; lo scenario descritto rende evidente la rilevanza della disponibilità di un sistema automatico a basso costo per coprire, in modo sostenibile, la richiesta crescente delle comunità dei non udenti (composte anche da persone udenti o scarsamente udenti) di acquisire un pieno sviluppo cognitivo, presupposto di base ad un pieno accesso all'istruzione, alla cultura, e all'inserimento nell'ambiente sociale e lavorativo.

L'acustica architettonica è un campo di studio che continua a avere nuovi sviluppi dei quali è opportuno tener conto nel momento in cui si presenta la necessità di realizzare un ambiente adatto a un particolare tipo di ascolto come, ad esempio, concerti e conferenze. L'articolo "L'acustica architettonica - Parametri di progetto e scelta dei materiali", è il secondo di una serie di tre articoli nei quali si cerca di offrire una panoramica il più completa possibile sul tema della progettazione acustica degli ambienti chiusi, che va necessariamente distinta da quella degli spazi aperti, nei quali i fenomeni fisici sono differenti. Nello specifico viene trattato l'aspetto

fisico dell'acustica, ripercorrendo i più importanti principi da tenere in considerazione nel momento in cui si decide di realizzare un trattamento acustico di un ambiente.

Riteniamo utile attirare l'attenzione su una iniziativa che prende corpo a partire da questo numero. I nostri lettori ci chiedono frequentemente di poter accedere ad articoli pubblicati sulla nostra rivista in anni meno recenti; abbiamo pertanto deciso di inaugurare una rubrica intitolata "Le Mini Serie" in cui verranno pubblicati articoli precedentemente apparsi nei numeri di Elettronica e Telecomunicazioni scelti col criterio di riproporre temi che hanno segnato l'evoluzione tecnologica delle telecomunicazioni, ed in particolare della radio e televisione, o di raccogliere contributi di approfondimento su singole tematiche di particolare rilevanza apparsi su numeri recenti.

Marzio **Barbero**
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Contemporaneamente alla pubblicazione del numero di dicembre di Elettronica e Telecomunicazioni è avviata una nuova iniziativa del Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai con la pubblicazione sul sito www.crit.rai.it de LeMiniSerie, raccolte di articoli precedentemente apparsi nei numeri di Elettronica e Telecomunicazioni.

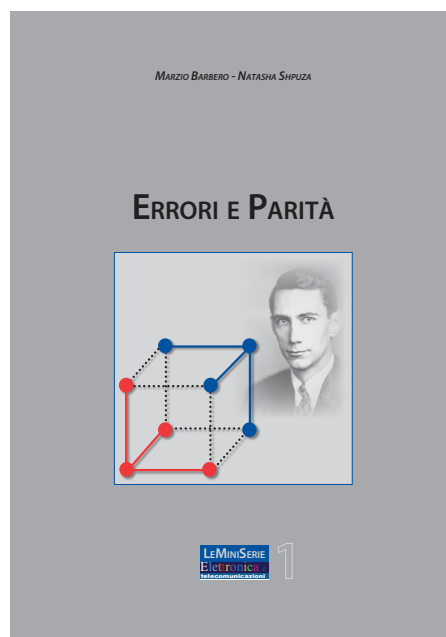
Obiettivi de LeMiniSerie di Elettronica e Telecomunicazioni sono la riproposizione di temi che hanno segnato la storia dello sviluppo delle telecomunicazioni, ed in particolare della radio e televisione, e la raccolta di contributi di approfondimento su singole tematiche apparsi su numeri recenti, in modo da facilitarne la consultazione. La pubblicazione avviene adottando una veste tipografica unitaria, e apportando, quando necessario, opportuni aggiornamenti ed eventuali correzioni.

Ciascuna raccolta di articoli è disponibile sul sito del Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica della Rai in due versioni, in una versione scaricabile e stampabile (Adobe Acrobat pdf) ed una versione che può essere sfogliata (Adobe Flash swf).

Le prime tre raccolte rese disponibili sono brevemente introdotte nei paragrafi che seguono.

1. Errori e Parità

La prima raccolta comprende tre articoli apparsi su Elettronica e Telecomunicazioni, rispettivamente nell'aprile e agosto del 2008 e nell'agosto del 2010.

Questo volume illustra il ruolo fondamentale delle tecniche per la protezione dagli errori nei sistemi digitali: nelle telecomunicazioni spaziali, nei sistemi di memorizzazione e nei sistemi di comunicazione, per la telefonia e la televisione digitale.

Nel 1948 Claude E. Shannon pubblica un articolo destinato a rivoluzionare la tecnologia alla base delle telecomunicazioni digitali. In tale articolo enuncia quello che è noto come Limite di Shannon, fornendo una relazione fra la capacità massima, in termini di bit-rate, e la larghezza di banda di un canale rumoroso e indica che tale capacità può essere raggiunta grazie all'uso di codici per la correzione degli errori. L'evoluzione delle tecniche di protezione dagli errori, a partire del codice di Hamming fino ai codici LDPC (*Low Density Parity Check*), ha portato negli ultimi anni al raggiungimento del limite di Shannon.

La seconda generazione degli standard per la diffusione e distribuzione dei segnali televisivi e, più recentemente, i nuovi sistemi di memorizzazione dati, adottano schemi basati su LDPC.

2. Sei Zero Uno ...
e il segnale video TV diventa binario

Trent'anni fa iniziava l'evoluzione dei sistemi di codifica digitale dell'informazione video, alla base dello sviluppo della TV e HDTV odierna. L'origine è l'accordo internazionale, raggiunto nel 1982, per convergere su un unico formato televisivo digitale: quello normalizzato nella attuale Raccomandazione ITU-R BT.601.

Il secondo volume de LeMiniSerie trae il proprio titolo dal numero Sei Zero Uno, il numero che identifica questa norma internazionale, e raccoglie quattro articoli pubblicati nei numeri di aprile 1982, aprile 2003, dicembre 2006, dicembre 2009.

I criteri di scelta dei parametri adottati per la codifica del segnale televisivo a definizione standard hanno influenzato non solo la successiva evoluzione dei sistemi di produzione, il cui formato è oggetto della norma, ma anche di quelli per la diffusione e distribuzione televisiva, inclusi quelli DVB e DVD basati sugli standard di compressione MPEG, di fatto sono la base anche dell'evoluzione dei sistemi in alta definizione.

Il primo capitolo corrisponde ad un articolo del 1982: una completa trattazione da parte di Gianfranco Barbieri, uno dei protagonisti dell'attività di definizione e normalizzazione, dei criteri alla base delle scelte allora operate.

Il secondo capitolo è la versione aggiornata di un articolo del 2003. Riassume brevemente i parametri principali della raccomandazione: essa fu definita con lo scopo di avere la maggior parte dei parametri in comune nel caso dei formati a 625 e 525 righe, con formato d'immagine 4:3, al fine di consentire economie di scala nella realizzazione degli apparati e di facilitare lo scambio internazionale dei programmi.

Il rapporto di forma 4:3, in uso fin dai primi passi dei sistemi televisivi, ancora oggi viene normalmente utilizzato per la produzione e la trasmissione su tutte le reti Rai e costituisce la quasi totalità del materiale di archivio.

Oggi il formato d'immagine 16:9 è sempre più diffuso, e la coesistenza con il formato 4:3 è causa di problemi di conversione del rapporto di forma: l'ampia casistica di situazioni è oggetto del terzo capitolo, articolo pubblicato nel 2009.

Infine, il quarto capitolo, aggiornamento di un articolo del 2006, parte dalla Raccomandazione ITU-R BT.656 relative alla interfaccia per consentire l'interconnessione degli apparati basati sulla ITU-R BT.601, per poi descrivere brevemente le interfacce utilizzate per interconnettere gli apparati video sia nell'ambito professionale che in quello consumer.

3. Italia '90
Il primo passo della HDTV digitale

Vent'anni fa, per la prima volta, un segnale HDTV digitale fu diffuso via satellite. Era la prima partita del Campionato Mondiale di Calcio Italia '90.

Tale evento era stato possibile grazie ai risultati di un progetto europeo, Eureka 256, proposto e attuato da un consorzio italo-spagnolo costituito da Rai e Telettra, per quanto riguarda la componente italiana, e da Telettra Española, Retevision e il Politecnico di Madrid, per la componente spagnola.

Tra l'8 Giugno e l'8 Luglio del 1990, in sette sale di cinque città italiane, appositamente attrezzate con proiettori a grande schermo forniti dalla Seleco, furono proiettate le immagini HDTV riprese sui campi di calcio di Italia 90 con i due standard di ripresa allora in uso a 1250 linee per Europa ed a 1125 per USA-Giappone. Il satellite Olympus, usato per la sperimentazione, consentì di "illuminare" anche Barcellona e le immagini del segnale ricevuto dal satellite furono trasmesse, grazie ad un collegamento in fibra ottica, da Barcellona a Madrid, permettendo la visione delle partite anche nella capitale spagnola, alla presenza dei reali di Spagna.

Questo volume de LeMiniSerie raccoglie 17 articoli, pubblicati su Elettronica e Telecomunicazioni negli anni 89-92, che illustrano le tecniche e le realizzazioni che portarono al successo del progetto.

L'obiettivo del Progetto era quello di comprimere un segnale HDTV da un valore di bit-rate attorno ad 1 Gbit/s ad un valore di 70 Mbit/s con l'impiego di algoritmi di riduzione della ridondanza e irrilevanza spaziale e temporale, basati sulla trasformata coseno discreta (DCT), codici a lunghezza variabile, codifica predittiva e compensazione del movimento.

Il successo del progetto mise definitivamente in evidenza i vantaggi delle tecniche e tecnologie digitali per la diffusione e distribuzione delle informazioni TV e HDTV. Il progetto EU-256 è all'origine di un elevato numero di presentazioni a congressi internazionali, articoli scientifici e brevetti che hanno rappresentato una base di riferimento importante per gli sviluppi degli standard di compressione e diffusione attuali, compresi gli standard MPEG e DVB.

Tale contributo è testimoniato dai riconoscimenti internazionali attribuiti alle aziende e ai ricercatori che hanno partecipato al progetto per i risultati ottenuti.

ATLAS*: Traduzione automatica nella Lingua dei Segni

Alberto **Morello**
Rai - Centro Ricerche e Innovazione Tecnologica

Paolo **Prinetto**
Politecnico di Torino - Dip. di Automatica e Informatica

Sommario
Il progetto ATLAS ha lo scopo di realizzare un sistema per tradurre dalla lingua italiana scritta alla Lingua del Segni Italiana (LIS) e di visualizzare il risultato direttamente su supporti diversi attraverso personaggi virtuali. Il sistema, facendo ricorso ad approcci sia statistici sia basati su regole, traduce prima un testo italiano in un linguaggio intermedio, che convoglia sia elementi di informazione linguistica sia di visualizzazione. Rappresentazioni intermedie vengono poi utilizzate da un sistema di pianificazione per generare sia lo scenario in cui saranno eseguiti i segni sia i comandi relativi motore grafico. Il servizio è destinato alla distribuzione mediante diverse piattaforme, tra cui DVB, mobile, DVD, e web. L'articolo presenta l'organizzazione complessiva del sistema ATLAS, l'architettura e le basi di conoscenza.

1. Introduzione

L'inserimento nel mondo della comunicazione elettronica è un passo importante sia per migliorare l'accesso delle persone alla società dell'informazione sia per superare le esclusioni sociali.

Le difficoltà di integrazione delle persone che sono nati sorde, o sono diventate sorde nei primi anni di vita, sono maggiori perché non hanno avuto la possibilità di acquisire la conoscenza della lingua parlata: più della metà delle persone sorde incontrano difficoltà nel leggere la forma scritta di una lingua parlata e, di conseguenza, hanno minori possibilità nell'apprendimento. D'altro canto, solo una minoranza fra i sordi è in grado di leggere le labbra abbastanza bene per capire la lingua parlata. Quindi, le persone non udenti hanno difficoltà a conversare con coloro che non utilizzano la lingua dei segni, a guardare film e televisione, a leggere.

* Questo articolo è basato sulla traduzione del documento "ATLAS: Automatic Translation into Sign Languages" presentato alla Conferenza IBC 2010 - Amsterdam, 9-14 Settembre 2010. Un precedente articolo sul progetto ATLAS è stato pubblicato nel numero di agosto 2009 di questa rivista.

La lingua dei segni (SL) è un linguaggio visivo che, per comunicare, si basa sulla gestualità del corpo invece di basarsi sui suoni. Si basa sulla combinazione contemporanea di forme, orientamenti e movimenti delle mani e di componenti non manuali, quali le espressioni facciali. Una lingua dei segni non è una pantomima, né è la resa visiva del relativo linguaggio verbale.

Le lingue dei segni si sviluppano ovunque esistano le comunità di non udenti, comunità che possono includere, oltre a persone sorde o con udito seriamente compromesso, anche interpreti, amici e famiglie di persone sorde.

Le lingue dei segni permettono ai bambini sordi di acquisire uno pieno sviluppo cognitivo all'interno della loro comunità, composta da persone udenti e non udenti. Tale sviluppo cognitivo rappresenta il presupposto di base a un pieno accesso all'istruzione, alla cultura, e all'inserimento nel l'ambiente sociale e lavorativo.

La "Sintesi dei Segni" è spesso vista come una soluzione al problema di comunicazione che ricorre spesso tra le persone non udenti e il resto della comunità, da qui nasce l'ipotesi che per risolvere il problema della comunicazione sia sufficiente convertire la voce o la scrittura in segno. La difficoltà di questo approccio nasce dal fatto che ogni lingua dei segni è molto diversa da tutte le lingue parlate e somiglia molto poco alle lingue più diffuse parlate nello stesso paese. Pertanto la traduzione da una lingua parlata alla lingua dei segni è un'impresa complessa. Alcune applicazioni di sintesi dei segni cercano di evitare questo problema usando versioni basate sui segni delle lingue parlate, ma questi sistemi non producono risultati che non sono comprensibili dalle persone sorde molto di più di quanto lo siano le versioni scritte di tali lingue.

I settori in cui sintesi offre i risultati più promettenti sono quelli relativi ai modi con cui registrare e rappresentare le lingue dei segni. Il modo più comune di registrare le lingue parlate è la scrittura, ma le lingue dei segni non sono quasi mai scritte. Ci sono stati vari tentativi di creare sistemi di scrittura per le lingue dei segni, ma nessuna comunità di sordi ne ha adottato una in modo significativo. Una soluzione a questo problema che trova sostenitori è l'uso di sequenze video, ma questo approccio pone ulteriori problemi legati all'elevata capacità richiesti per la memorizzazione o la trasmissione dell'informazione video.

La Sintesi dei Segni è in grado di risolvere questi problemi: una frase da memorizzare può essere scritta, dall'autore o da una terza parte, usando uno dei sistemi di scrittura esistenti; può essere quindi memorizzata e trasmessa in forma scritta, per essere successivamente utilizzata per sintesi in un insieme fluente di segni, ogni qual volta sia necessario riprodurla.

L'unico modo per convertire a costi contenuti da una lingua parlata alla lingua dei segni è la traduzione automatica. Purtroppo, i linguisti hanno tentato per decenni di ottenere la traduzione automatica tra lingue dell'Europa occidentale strettamente correlate e hanno ottenuto un successo limitato. Le prospettive sono molto meno promettenti nel caso di una coppia di lingue così diverse come la lingua italiana scritta e parlata e la "Lingua dei Segni Italiana" (LIS), la lingua dei segni utilizzato in Italia.

L'obiettivo del "Riconoscimento della Lingua dei Segni" (SLR) è quello di fornire un meccanismo efficiente e accurato per trascrivere in testo la lingua dei segni. In letteratura, molti ricercatori si concentrano principalmente sul riconoscimento delle lingue dei segni limitando il vocabolario, a dimensioni piccole o medie. Le principali sfide che SLR deve ora affrontare è lo sviluppo di metodi che risolvano i problemi legati ad un ampio vocabolario e alla riproduzione mediante una sequenza continua di segni.

La Lingua dei Segni Italiana (LIS) è un lingua autonoma, utilizzata dai sordi per i quali è sia la lingua madre sia la lingua principale e dai quali l'italiano è percepita come una lingua straniera. La sottotitolazione di un programma televisivo, ad esempio, non può offrire la stessa profondità di informazione che

è invece garantita dalla lingua dei segni, caratterizzata dalla capacità di facilitare la partecipazione e la comprensione.

Le organizzazioni di servizio pubblico hanno il dovere di estendere i servizi a tutta la comunità, comprese le minoranze e le persone con disabilità sensoriali. Attualmente, in Italia, i programmi televisivi che offrono la traduzione simultanea nella lingua dei segni sono per lo più diffusi in orari di minor ascolto poiché, sottraendo una parte significativa dello schermo per mostrare l'interprete, incontrano un minor gradimento da parte dalla generalità del pubblico. E' quindi molto sentita l'esigenza di offrire la traduzione in LIS come servizio opzionale, selezionabile sulla TV digitale. Si prevede una crescente richiesta di interpretazione LIS nei contesti educativi, legali e sanitari e, nel prossimo futuro, in quelli relativi alla cultura e al divertimento.

Inoltre, non esistono oggi sistemi di traduzione completamente automatizzati dal testo alla lingua dei segni con visualizzazione mediante un personaggio virtuale che siano ampiamente adottati ed efficaci. Come dimostrato dai risultati di alcuni progetti internazionali, una soluzione basata sull'uso di personaggi virtuali è generalmente accettata dalla comunità dei non udenti ed in particolare i giovani sono molto interessati a questa tecnologia, in quanto offre loro una nuova possibilità di inserimento nella comunità globale.

Per quanto riguarda il punto di vista scientifico, una catena completamente automatica di traduzione da testo a LIS presentata da un personaggio virtuale rappresenta un argomento di ricerca del tutto nuovo e stimolante, che richiede la convergenza di diverse competenze specialistiche (traduzione automatica, ontologie, animazione in tempo reale).

Lo scenario descritto rende evidente la rilevanza della disponibilità di un sistema automatico a basso costo per coprire, in modo sostenibile, la richiesta crescente di una vasta gamma di servizi con contenuti LIS.

2. Il progetto ATLAS

ATLAS (www.atlas.polito.it) è un progetto triennale (gennaio 2009 - dicembre 2011), co-finanziato dalla Regione Piemonte nell'ambito del quadro "Tecnologie convergenti - CIPE 2007" (Settore di Ricerca: Scienza Cognitiva e ICT).

Il progetto mira a sviluppare strumenti a supporto della traduzione dalla lingua scritta italiana alla lingua dei segni italiana. In particolare, l'obiettivo concreto del progetto è lo sviluppo di un traduttore in grado di tradurre frasi dalla lingua italiana naturale nella corrispondente sequenza di segni, attraverso una traduzione intermedia in forma scritta della LIS. Ciò comporta l'analisi del linguaggio naturale sia dal punto di vista linguistico sia da quello strutturale e la realizzazione di un interprete virtuale.

Il progetto mira a raggiungere i seguenti obiettivi::

- Sviluppare un sistema di traduzione automatica da un testo scritto in lingua italiana (sottotitoli o testi in generale) a LIS. La traduzione sarà realizzata ricorrendo alle tecniche più avanzate basate sulla statistica e sulle regole.
- Sviluppare *corpora* di informazioni appropriato per addestrare correttamente il sistema di traduzione automatica. Ci si focalizzerà su ambiti specifici, tra cui le informazioni meteo, le guide artistiche o territoriali, e su ulteriori argomenti individuati nel corso del progetto.
- Sviluppare un editor visuale assistito per supportare gli interpreti nella traduzione da testi in italiano a LIS. L'editor servirà come strumento di riferimento per la costruzione del *corpus*.
- Sviluppare un flusso per il *rendering* e la visualizzazione dell'interprete virtuale, di seguito denominato "personaggio virtuale".
- Definire i comandi per il personaggio virtuale per le diverse piattaforme di distribuzione e i vari dispositivi *client*.
- Progettazione e realizzazione di piattaforme *client-server* per dimostrare il servizio su diverse piattaforme, incluse i diversi tipi di Digital Video Broadcasting (DVB), telefoni cellulari, applicazioni web, e ulteriori supporti fisici come i DVD.

Fig. 1 - L'Architettura ATLAS.

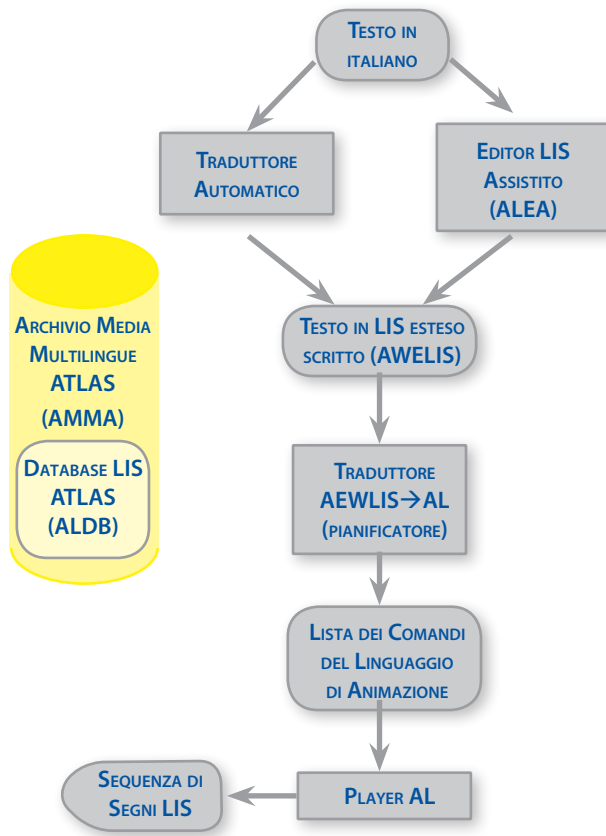
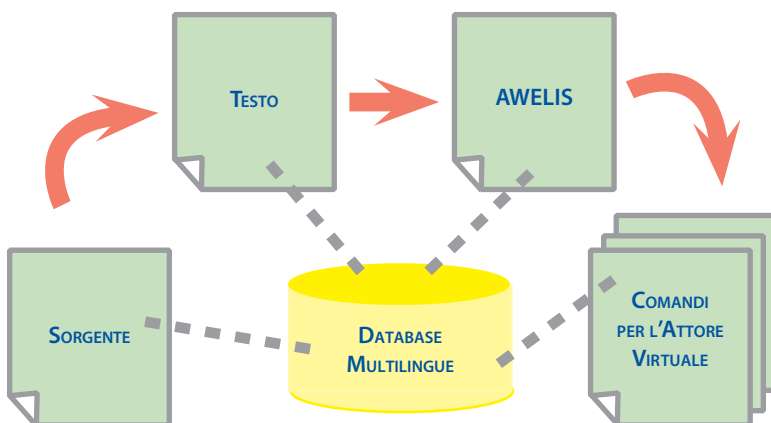



Fig. 2 - Catena di traduzione

3. L'Architettura ATLAS

L'architettura del sistema ATLAS è mostrata in figura 1.

I testi scritti in linguaggio naturale italiano sono dapprima tradotti in una rappresentazione intermedia, denominata AEWLIS (ATLAS *Extended Written Italian Sign Language*), definita e sviluppata nella parte iniziale del progetto.

Le frasi espresse in AEWLIS sono poi tradotte in nella lingua gestuale del personaggio AL (*Animation Language*) che rappresentano la traduzione in LIS delle frasi stesse.

Più precisamente, il processo di traduzione dalla lingua italiana in LIS è suddivisa in diverse fasi principali (figura 2):

1. acquisizione del contenuto
2. traduzione del testo in AEWLIS
3. generazione dei comandi per l'Attore Virtuale
4. *rendering* dei comandi.

3.1 Acquisizione dei contenuti

L'acquisizione del contenuto sorgente è la prima fase del processo di traduzione e mira a raccogliere diversi tipi di contenuto: audio, video, pagine di televideo, pagine web, testi e sottotitoli. I componenti multimediali sono importanti anche per la generazione di un servizio completo su canali di comunicazione quali la televisione digitale o i dispositivi mobili.

3.2 L'AEWLIS

Nella fase di ideazione del progetto ATLAS, i proponenti ritennero che uno dei compiti principali del progetto doveva riguardare la definizione di una forma scritta della Lingua dei Segni Italiana.

Questa ipotesi è basata su diverse motivazioni:

- La maggior parte delle lingue (parlate) hanno, come uno dei principali modi di espressione, una forma scritta.
- Molti sforzi sono stati fatti per definire i modi per rappresentare in forma stampata la sequenza di segni di una "frase". Questo è stato fatto per la maggior parte delle lingue dei segni del mondo, con l'intendimento che la notazione scritta deve essere il più possibile indipendente dalla lingua.
- Una specie di rappresentazione "simbolica" del flusso dei segni è necessaria per attuare correttamente il processo di traduzione; in particolare, per fornire di un flusso di input adatto il modulo responsabile della animazione dei personaggi.
- Tale rappresentazione è necessaria anche per lo sviluppo di un corpus "annotato" dei "testi" segnati.

Si è tenuto conto in questo modo delle peculiarità del LIS (e del linguaggio dei segni in generale) nella definizione del AEWLIS. Tra queste, una delle più rilevanti è la simultaneità di segni: i suoi componenti costituenti, il "*cheremes*" (la forma di mano, e l'orientamento e il movimento di mani, braccia e corpo) si verificano contemporaneamente; al contrario, i componenti delle lingue parlate e scritte (i "fonemi" e i "grafemi", rispettivamente) sono per lo più di natura sequenziale. Le espressioni facciali sono inoltre di grande importanza per attribuire un significato. Inoltre, tutti i SL stabiliscono "loci" di riferimento nello spazio, cioè luoghi speciali nello spazio dei segni che rappresentano persone, luoghi, e così via.

In particolare, AEWLIS eredita le specifiche morfologiche e la struttura sintattica della LIS; i seguenti canali di comunicazione sono stati considerati rilevanti in LIS: Mani, Direzione, Corpo, Spalla, Testa, Viso, Labiali, e Sguardo. I canali sono ritenuti ortogonali tra loro, si richiede una registrazione indipendente delle azioni eseguite su ciascuno di essi.

L'insieme dei segni utilizzati nell'ambito del progetto ATLAS include:

- Segni ampiamente utilizzati nell'ambito delle varie comunità italiane di sordi.
- Segni nuovi definiti nell'ambito del progetto ATLAS, precedentemente non esistenti, ma necessari per rappresentare concetti specifici, in particolare associati a eventi e situazioni meteorologici.
- Segni associati con "classificatori LIS".

Nell'ambito dell' archivio multimediale ATLAS (AMMA) è stato definito e utilizzato un database per memorizzare tutti gli elementi di informazione associata a ciascuno dei segni ATLAS.

3.3 Traduzione in AEWLIS

La traduzione da italiano scritto in testo AEWLIS è la parte più difficile del processo generale e si basa su algoritmi statistici e matematici molto complessi.

Ci sono fondamentalmente due approcci per adempiere a questo compito: traduzione basata sulle regole e traduzione basata sulla statistica.

Il primo approccio, attualmente adottato dal team del Dipartimento di Informatica della Università di Torino, è basata su regole per la mappatura della struttura grammaticale e sintattica della lingua di partenza sulla lingua di arrivo (AEWLIS). L'analisi comprende quattro fasi principali: (1) analisi morfologica e dizionario di accesso (2) analisi sintattica (3) interpretazione semantica (4) traduzione in notazione ATLAS (Trame).

Il secondo approccio, adottato dal gruppo di ricerca della Fondazione Bruno Kessler di Trento, si basa su metodi statistici, e si basa su algoritmi classici di apprendimento automatico.

Si è seguito questo doppio percorso al fine di individuare i vantaggi e gli svantaggi dei due metodi, e di operare in conclusione la scelta definitiva, che potrebbe consistere nella integrazione dei due approcci.

3.4 Animazione dell'Interprete Virtuale

La traduzione della rappresentazione AEWLIS nella personaggio AL si realizza in due fasi. Il primo passo consiste nella traduzione di espressioni AEWLIS in AL, mentre il secondo passo si occupa dell'analisi

Fig. 3 - Uno dei personaggi virtuali ATLAS.

della sequenza AL al fine di produrre le animazioni, cioè della vera e propria riproduzione animata.

D'altra parte, la AL include componenti specifiche volte a descrivere come produrre e collegare i movimenti di base al fine di generare una sequenza di animazioni comprensibili da far attuare al personaggio virtuale. La figura 3 mostra uno dei personaggi virtuali sviluppati, nell'ambito del progetto, dal Virtual Reality & Multimedia Park di Torino.

Sono due i livelli da considerare nell'animazione: il "livello del segno", dove i segni LIS sono gli elementi fondamentali e le regole limitano la loro concatenazione in una frase LIS, e il "livello gestuale", dove i segni sono oggetti complessi costituiti di gesti base del personaggio e le regole che vincolano la loro combinazione sequenziale e parallela e per ottenere i segni ammessi. Il livello gestuale si occupa dei movimenti relativi ai segni elementari che riguardano mani, braccia, spalle, collo, testa e tronco, in combinazione con le espressioni facciali. Accade che le modalità diverse di un unico gesto hanno significati diversi in lingua LIS, e pertanto un aspetto importante di questo studio è tener conto della parametrizzazione dei gesti di base, così come le regole di combinazione, per velocità, accelerazione, larghezza e lunghezza. Lo studio a livello gestuale deve comprendere quali segni saranno da considerare nel loro insieme (le entità atomiche) e quali saranno i segni a dover essere decomposti in gesti (le entità subatomiche) per poi essere ricomposte in tempo reale.

Le espressioni facciali e labiali sono ampiamente utilizzati dagli interpreti umani e sono una parte significativa della comunicazione. Un buon esempio può essere offerto dalla forma interrogativa: nel linguaggio LIS la struttura della frase non cambia, come, per esempio, in inglese, e una domanda è rappresentata da una frase affermativa accompagnata da un'espressione interrogativa del viso.

I personaggi ATLAS sono progettati per offrire un controllo totale di espressività: modellazione dei muscoli, simulazione della pelle, modellazione antropometrica e sincronizzazione del parlato consentono al personaggio virtuale di fornire traduzioni molto espressive e realistiche. I "canali di comunicazione" forniti dal AEWLIS sono utilizzati per controllare l'interprete virtuale.

Il processo di traduzione utilizza metodi differenti per trasferire l'espressione giusta all'interprete virtuale: ad esempio, quando vi è un punto interrogativo nella frase da tradurre, l'interprete virtuale assume una espressione facciale interrogativa.

Nella traduzione basata su regole, l'algoritmo di analisi semantica genera tutti i dati relativi alle espressioni.

Nella traduzione basata sulla statistica, nel corso del lavoro di apprendimento del motore statistico ogni segno acquisito è associato ai dati relativi, comprese la posizione di mani, direzione, corpo, spalle, testa, viso, labbra, sguardo e espressioni. L'uscita della traduzione è una sequenza di segni in cui vengono introdotte le informazioni di cui sopra, incluse le espressioni facciali, sulla base di considerazioni statistiche.

Le sequenze risultanti AL sono rese per mezzo di un motore di *rendering* 3D. Un sistema automatico di "fusione di animazione" farà in modo che le animazioni generate LIS includano transizioni uniformi tra segni. Infine, il motore sarà distribuito a un numero limitato di utenti finali e i loro *feedback* saranno raccolti e analizzati sotto la supervisione di un esperto.

Gli strumenti sviluppati saranno applicabili a diversi domini, tra cui la traduzione simultanea in LIS dei sottotitoli associati a programmi TV, la presentazione di contenuti digitali e interfacce per l'accesso del cittadino ai servizi pubblici, la presentazione di informazioni e di messaggi diretti alle persone sorde su dispositivi mobili utilizzando il LIS, creazione di un canale televisivo dedicato ai sordi su base nazionale o regionale. .

3.5 Il Database Multimedia di ATLAS

E' stato realizzato un database multimediale, denominato AMMA, per supportare il processo di traduzione sopra citato (figura 4). Sono necessari diversi componenti, compresi i database e i *repository* di file multimediali, per memorizzare il set complessivo degli elementi di informazione gestiti all'interno del processo di ATLAS.

3.6 La rete ATLAS

E' stata realizzata una rete completa per consentire una corretta interconnessione di tutti gli utenti ATLAS (figura 5).

Gli utenti ATLAS sono classificati sulla base del loro ruolo, distinguendo tra:

- ***i partner ATLAS:*** le istituzioni e centri di ricerca coinvolti nel progetto. Essi includono: Politecnico di Torino (Dip. di Automatica e Informatica), Università di Torino (Dip. di Informatica e Dip di Psicologia.), la Rai Radiotelevisione Italiana SpA, BEPS Engineering, Microsoft Innovation Center, Virtual Reality and Multimedia Park, Lumiq Studios srl, Alto Sistemi srl, CSP - Innovazione nelle

Fig. 4 - Organizzazione del database AMMA.

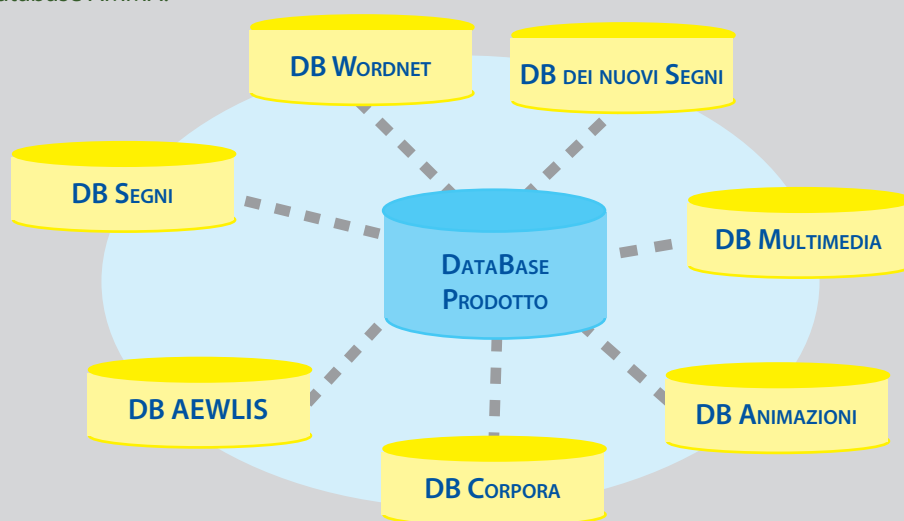
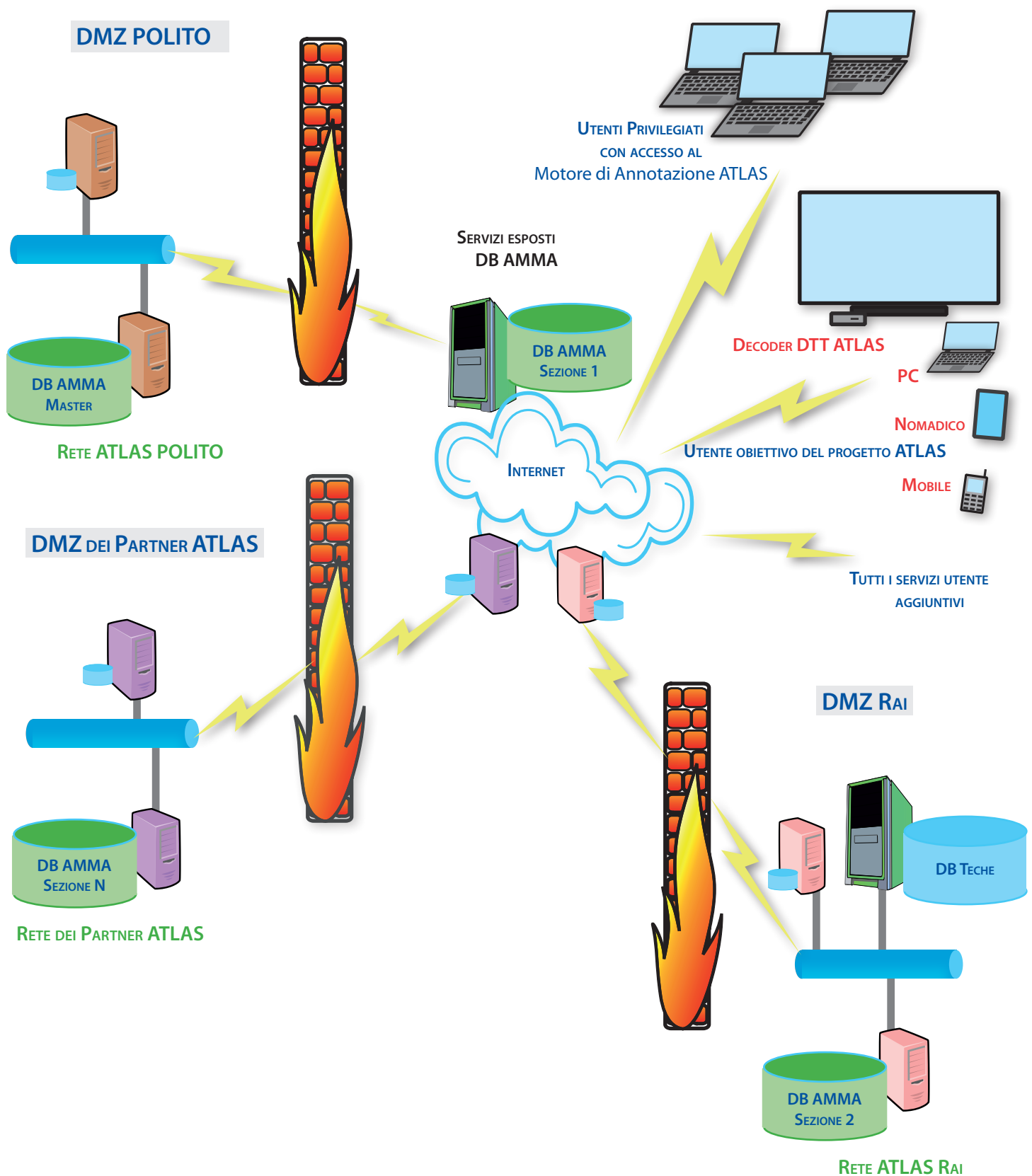



Fig. 5 - La rete ATLAS. Le DMZ (*demilitarized zone*) sono segmenti isolati di LAN (una "sottorete") raggiungibili sia da reti interne che esterne che permettono, però, connessioni esclusivamente verso l'esterno: gli *host* attestati sulla DMZ non possono connettersi alla rete aziendale interna.

ICT, Fondazione Bruno Kessler - Trento, Cooperativa SCS Global Comunication, University of Illinois a Chicago.

- ***ATLAS Power Users***: utenti specializzati incaricati della creazione di corpora necessari per sostenere e migliorare la fase di traduzione statistica.
- ***ATLAS Target Users***: le persone sorde che beneficeranno della disponibilità degli interpreti ATLAS virtuali sui mezzi di comunicazione, tra cui TV digitale, inter-net, DVD, smart-phone, ...
- ***Tutti gli utenti*** che possono accedere, attraverso il portale ATLAS, a tutti i prodotti e ai prodotti derivati sviluppati nell'ambito del progetto. Essi includono, tra gli altri, un completo dizionario LIS per smart-phone, un potente editor per assistere l'annotazione dei film in AEWLIS, il *porting* del motore grafico *open-source* 3D OGRE (*Object-Oriented Graphics Rendering Engine*) per piattaforme Windows CE ... In conclusione, è bene ricordare che tutti i programmi, i dati e corpora sviluppati nell'ambito del progetto ATLAS saranno messi a disposizione delle varie comunità di ricerca mediante licenze *open-source*.

3.7 Valutazione delle traduzioni e comprensibilità dell'interprete virtuale

Uno specifico *Work Package* del progetto è dedicato a valutare l'efficacia complessiva del processo.

In particolare, un primo passo consiste nella valutazione della traduzione da italiano a AEWLIS. E ' condotto da interprete madrelingua LIS e utenti sordi,che partecipano alla preparazione del materiale per il processo di apprendimento del traduttore statistico. Al momento di questo documento la fase di apprendimento è ancora in corso: le valutazioni effettuate sulle frasi di esempio sono considerati positivi.

Un secondo passo consisterà nella valutazione sia dell'animazione sia dei componenti di traduzione: queste attività saranno svolte attraverso esperimenti condotti con persone sorde per valutare la qualità dei risultati.

Il progetto è sostenuto dalla collaborazione di ENS (Ente nazionale sordomuti), l'Associazione Nazionale Italiana sordo persone, che svolge un ruolo importante nel processo di validazione.

Bibliografia

- Merlo Pick V. (1988),"Grammatica della Lingua Swahili", E.M.I. , Torino.
- Radutzky E. (1992), "Dizionario bilingue elementare della Lingua dei Segni Italiana", ed. Kappa, Roma.
- Romeo O. (1996), "Dizionario dei Segni", Zanichelli , Bologna
- Smith M. (2003), "On the Interpretation of Restrictive Internally Headed Relative Clauses".
- Vaijayanthi Sarma (2003), "Non-canonical word order" in "Word Order and Scrambling" a cura di Simin Karimi, 2003, Blackwell Publishing , UK.
- Franchi M. L. (1987), "Componenti non manuali" in "La lingua italiana dei segni" a cura di V. Volterra, Il Mulino , Bologna.
- Holmes P. and Hinchliffe I. (1997), "Swedish – An essential Grammar", Routledge.
- Laudanna A. (1987), "Ordine dei segni nella frase" in "La lingua italiana dei segni", V. Volterra, Il Mulino , Bologna.
- Verdirosi M. L. (1987), "Luoghi" in "La lingua italiana dei segni" a cura di V.Volterra, 1987, Il Mulino , Bologna.
- Vries, M. de (2002), "The Syntax of Relativization" PhD Dissertation at Universityof Amsterdam , published by LOT, Utrecht.

Riconoscimenti

Gli autori desiderano ringraziare tutte le persone coinvolte nel progetto ATLAS per la fornitura del materiale e degli elementi di informazione necessari per realizzare questo articolo.

Che cosa è, come funziona

L'acustica architettonica Parametri di progetto e scelta dei materiali

Parte II

Leonardo **Scopece,**
Alberto **Ciprian**

1. Elementi pratici di progettazione

Sommario
Il campo dell'acustica architettonica è molto ampio e nel voler realizzare un progetto di trattamento acustico non basta conoscere soltanto gli aspetti fisici, ma è opportuno considerare sia i parametri di progetto generali, derivanti dai vari studi sviluppati nel corso degli anni, sia la scelta dei materiali da utilizzare per ottenere un particolare effetto. I l presente è il secondo di tre articoli riguardanti l'acustica architettonica e fornisce una panoramica sui temi appena citati.

La fisica delle onde va presa come punto di partenza per poter capire che tipo di progettazione acustica applicare in base alle proprie esigenze. Qui si intende sviluppare il discorso sui parametri dell'ambiente, dimensionamento e struttura dei vari componenti architettonici in gioco, e successivamente la scelta dei materiali da utilizzare in funzione delle frequenze e del tipo di riverbero che ci si aspetta in funzione dell'obiettivo da raggiungere

Quando si parla di progettazione acustica di un ambiente è necessario tener conto, oltre all'analisi modale, anche del concetto di frequenza limite, meglio conosciuta come frequenza di Schrœder. Questa rappresenta il limite inferiore delle frequenze in cui il campo sonoro assume connotati statistici e si calcola secondo la seguente relazione:

$$f_{\lim} = \frac{5000}{(V \cdot k_{n,\mathrm{mod}})^{1/2}} \cong 2000 \cdot \left(\frac{T}{V}\right)^{1/2}$$

dove $k_{n,mod}$ rappresenta il valore medio della costante di smorzamento di molti modi, T è il valore del tempo di riverberazione e V è il volume dell'ambiente. Al di sotto della frequenza di Schrœder prevalgono le caratteristiche modali legate all'ambiente.

Questa frequenza divide la risposta in frequenza del livello di pressione sonora in tre zone (figura 1):

- ***zona dominio modale***: prevale un comportamento deterministico in cui i modi sono pochi e la densità modale è bassa.

- ***zona di diffusione***: inizia il comportamento statistico dei modi che rende il campo diffuso e provoca un aumento della densità modale.
- ***zona di assorbimento***: in questa zona i modi sono molti e indistinguibili, quindi il comportamento dipende maggiormente dalle caratteristiche di assorbimento dell'ambiente.

Siccome la frequenza di Schrœder dipende da $(T/V)^{1/2}$, si nota subito come negli ambienti di grandi dimensioni, in cui quindi il parametro ***V*** ha un valore grande, la considerazione dei modi perda di significato. Quindi la descrizione modale è necessaria prevalentemente per gli ambienti di piccole dimensioni. Tuttavia è pressoché impossibile fare previsioni quantitative sul comportamento acustico di un piccolo ambiente senza l'aiuto di un software dedicato, ed è necessario basarsi su alcuni parametri di progetto standard che possano approssimare al meglio il comportamento acustico della stanza. Generalmente si considerano quattro fasi:

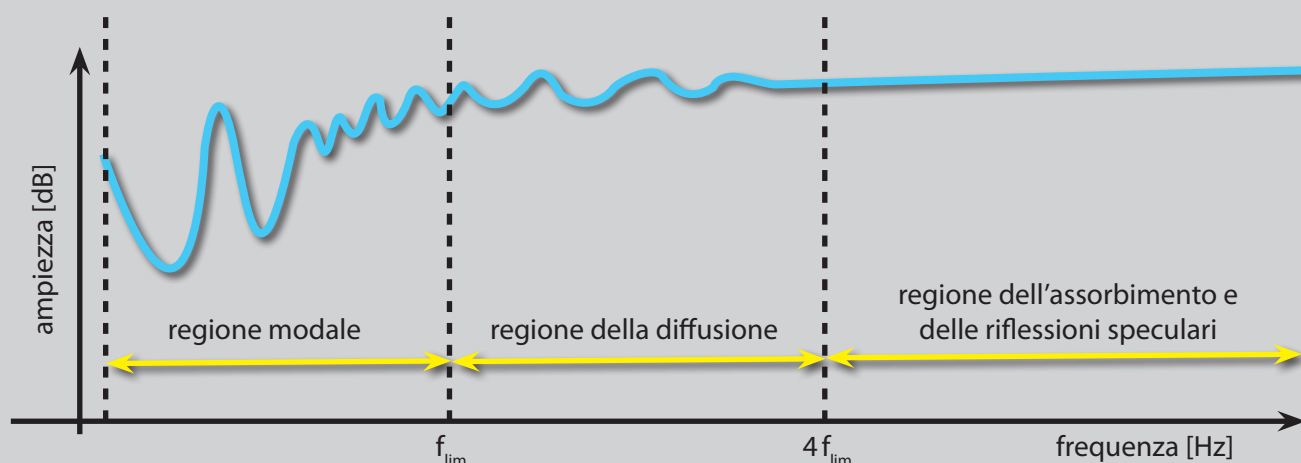
- progettazione geometrica
- dimensionamento delle superfici
- scelta dei materiali
- posizionamento delle sorgenti e dell'ascoltatore

La progettazione di tipo geometrico (*geometrical design*) è uno dei metodi più importanti da considerare per ridurre il più possibile la presenza dei modi assiali all'interno dell'ambiente a favore di modi meno energetici. La scelta peggiore che si può adottare consiste nello scegliere una pianta a pareti parallele tra loro (soffitto e pavimento compresi) in quanto consentono la generazione di modi assiali e di onde stazionarie. É quindi necessario studiare soluzioni ad hoc per ogni ambiente, anche considerando il tipo di suono che deve essere riprodotto all'interno.

Il corretto dimensionamento dei lati della stanza è un altro parametro a cui bisogna prestare molta attenzione, poiché permette di aggirare l'ostacolo di avere le pareti parallele e non poter agire direttamente su esse. Come detto, è molto difficile prevedere la risposta modale della stanza, per questo motivo si può creare all'interno della struttura parallelepipeda un guscio a pareti non parallele. Ma questo procedimento, ovviamente, deve essere seguito tenendo conto di un corretto dimensionamento dei lati.

- ***Rapporti di Bolt***: si considera l'idea secondo cui si ha una migliore risposta in frequenza e un minore ROS[Nota 1] imponendo che i modi siano equispaziati in frequenza. I rapporti ottenuti sono 1 : 1,26 : 1,59 (considerando altezza, larghezza e lunghezza).

Nota 1 - acronimo per Rapporto di Onde Stazionarie, rappresenta la differenza, espressa in dB, fra massimi e minimi dei valori di livello di un'onda stazionaria.

Fig. 1 – Regioni di comportamento stazionario.

- ***Rapporti di Sepmeyer***: vengono definite tre famiglie di rapporti ottimali, a seconda che, a parità di altezza, si preferiscano stanza più o meno allungate. I rapporti sono elencati nella tabella seguente:

Altezza	*Larghezza*	*Lunghezza*
1	1.14	1.39
1	1.28	1.54
1	1.60	2.33

- ***Criterio di Bonello***: è un metodo basato sulla psicoacustica e utilizza un diagramma per verificare l'accettabilità di una distribuzione di modi. Sull'asse delle ordinate viene riportato il numero dei modi la cui frequenza naturale è contenuta in bande a terzi di ottava, mentre sulle ascisse vengono riportate le bande a terzi di ottava. Secondo il criterio, il tracciato risultante deve essere crescente, cioè il numero di modi in una banda deve essere maggiore o uguale a quello contenuto nella banda precedente. Un esempio di applicazione di questo criterio è rappresentato in figura 2.

Infine, rimane la scelta sui dispositivi acustici e sui materiali da utilizzare. Quest'ultimo punto non si basa su precisi standard come può essere il dimensionamento delle pareti, perché, come detto ogni ambiente può essere realizzato con finalità diverse: un parlatorio avrà la necessità di avere un riverbero bassissimo, e al contrario un ambiente destinato alla riproduzione musicale necessiterà di un valore di riverbero più o meno alto a seconda del genere riprodotto.

1.1 Misurazione impulsiva di una stanza

Spesso l'analisi modale non è sufficiente per studiare la risposta impulsiva di una stanza, in quanto va bene soltanto per ambienti parallelepipedi. Per questo motivo negli ultimi anni sono stati introdotti i cosiddetti metodi geometrici, in cui le onde sonore vengono trattate come i raggi luminosi, per i quali valgono le leggi di ottica geometrica di Snell. Inoltre, si suppone che l'angolo di incidenza e quello di riflessione siano uguali, ma questa affermazione a sua volta vale soltanto nel caso in cui si considerino due ipotesi: dimensione delle pareti grande e curvatura/irregolarità delle superfici riflettenti piccola rispetto alla lunghezza d'onda del suono.

I principali metodi utilizzati sono il ***metodo delle immagini*** e l'***algoritmo di ray tracing***.

1.1.1 Metodo delle Immagini

É un metodo basato sull'idea che ogni parete si comporta come uno specchio acustico e viene rimpiazzata da una sorgente immagine, detta anche sorgente fantasma.

Fig. 2 - Criterio di Bonello.

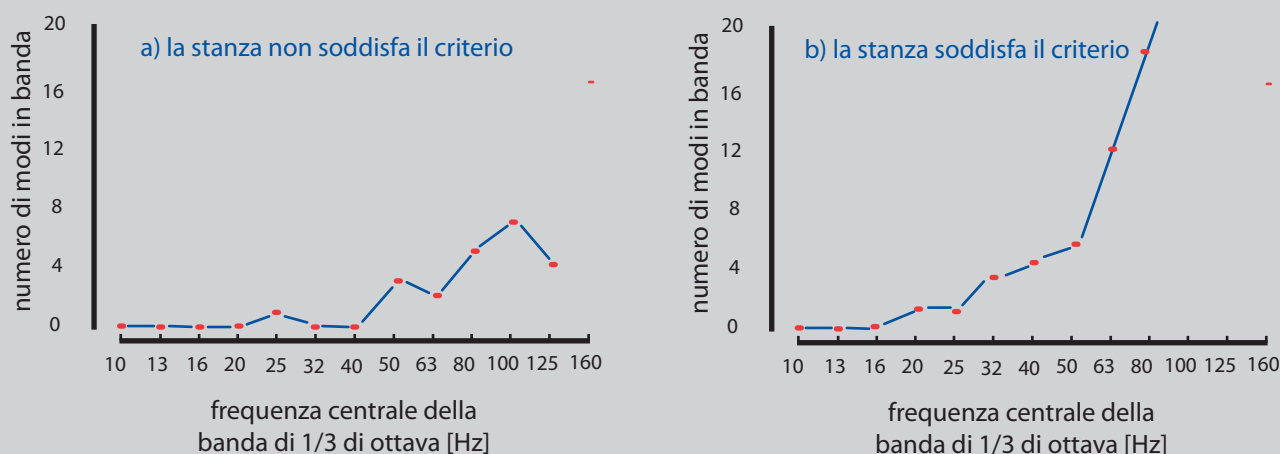
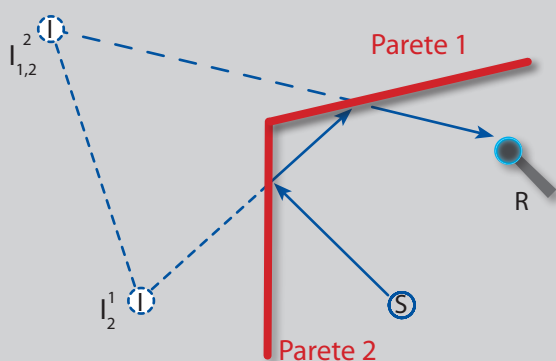



Fig. 3 - Immagine valida.

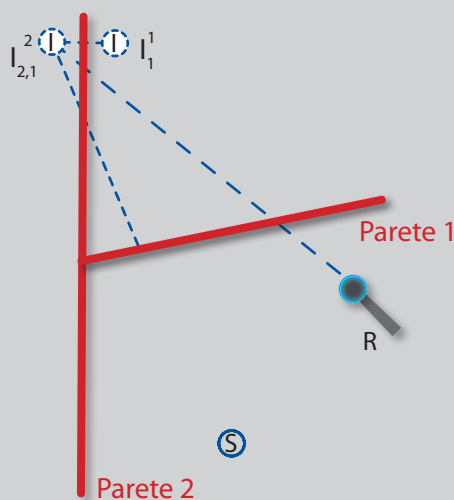



Fig. 4 - Immagine non valida.

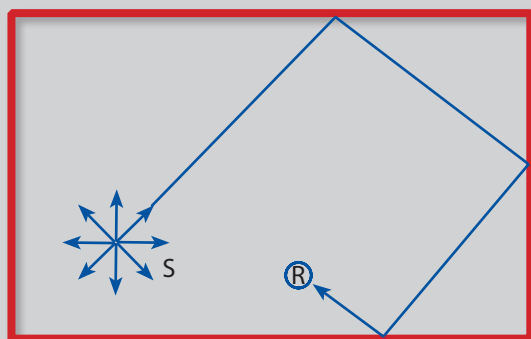



Fig. 5 - Algoritmo di ray tracing.

Per valutare il procedimento è utile considerare un caso semplice in cui si considerano due pareti non perpendicolari tra loro e immagini fino al secondo ordine. In figura 3 si indica l'immagine del primo ordine relativa alla parete 2 della sorgente con I^1_2, mentre con $I^2_{1,2}$, si indica l'immagine del secondo ordine generata da quella del primo ordine relativa alla parete 1. L'apice indica ordine dell'immagine, mentre il pedice indica la sequenza delle pareti che hanno generato l'immagine a partire dal ricevitore.

Per calcolare il percorso di propagazione dell'immagine si parte dal ricevitore e si risale fino alla sorgente mediante un processo di backtracking. Nel caso rappresentato $I^2_{1,2}$ è un'immagine valida, poichè si incontrano tutte le pareti. In figura 4, invece, è rappresentato il caso di un'immagine non valida.

Il raggio che parte dal ricevitore incontra la parete 1 e raggiunge l'immagine $I^2_{2,1}$. Proseguendo con il backtracking e tracciando la perpendicolare alla parete 1 non si incontra mai la parete 2, quindi è impossibile trovare un raggio emesso dalla sorgente che attraversi la parete 2, la parete 1 e giunga al ricevitore. Nel caso in cui le pareti fossero perpendicolari, $I^2_{2,1}$ e $I^2_{1,2}$ coinciderebbero. Per realizzare l'algoritmo è necessario determinare tutte le immagini.

Ad esempio, si consideri un ambiente con 6 pareti: la sorgente genera 6 immagini del primo ordine, ogni immagine del primo ne genera 5 del secondo, che a loro volta ne generano altre 5 del terzo e così via. Quindi, per una simulazione di ordine n il numero delle immagini da considerare sono:

$$N^n_{imm} = \sum_{i=1}^{n} p(p-1)^{i-1}$$

dove p indica il numero delle pareti.

1.1.2 Algoritmo Ray Tracing

Il modello che utilizza l'algoritmo di ray tracing si basa su una sorgente sonora che emette un numero finito di raggi sonori modellati come particelle sonore con emissione radiale. Nel loro percorso, le particelle incontrano degli ostacoli, i quali, a loro volta, emettono altre particelle sonore (figura 5).

I problemi che emergono però sono due:

1. il primo consiste nel fatto che bisogna approssimare un numero teoricamente infinito di raggi sonori. Il numero di raggi dipende soprattutto dalla forma e dalle dimensioni della stanza considerata. Infatti, per una stanza parallelepipeda il numero è contenuto, al contrario in una stanza complessa il numero cresce in modo esponenziale. Per controllare il numero di raggi emessi si utilizzano le tecniche dette *pyramid tracing* e *cone tracing*.
2. Il secondo consiste nelle dimensioni del ricevitore. É necessario, infatti, che le dimensioni del ricevitore non siano troppo piccole, in quanto si rischierebbe di non intercettare alcun raggio sonoro (figura 6).

Fig. 6 - Problema delle dimensioni del ricevitore.

Da vari studi è emerso che la forma migliore per il ricevitore è sferica, inoltre Lehnert ha proposto, per la dimensione del ricevitore, di adottare una grandezza variabile a seconda del numero e della lunghezza dei raggi. La relazione che descrive questa soluzione è la seguente:

$$r = l \cdot \sqrt{\frac{2\pi}{N}}$$

dove ***l*** è la lunghezza del raggio, mentre ***N*** è il numero di raggi emessi. Il grande vantaggio di questi modelli consiste nel fatto di poter modellare in modo accurato fenomeni fisici come la diffrazione.

2. La coibentazione sonora

Una buona scelta dei materiali e una buona gestione delle superfici (soprattutto il pavimento) può permettere di ridurre notevolmente il numero di componenti aggiuntivi, lavorando sul trattamento di un largo range di frequenze e riducendo al minimo le vibrazioni prodotte dalla strumentazione presente nella camera (come strumenti musicali o componenti di un impianto).

Innanzitutto è necessario definire cosa si intende generalmente per isolamento acustico: è la capacità che una struttura ha di ridurre l'energia acustica che si propaga per via aerea dall'ambiente disturbante a quello ricevente. Quando un fronte d'onda incide su una superficie (figura 7) avvengono diversi fenomeni: l'energia che si propaga per via aerea viene trasformata in vibrazione meccanica della struttura; l'energia meccanica si ritrasforma parte in energia acustica che si propaga per via aerea, parte in energia dissipata in calore e parte in energia meccanica trasmessa per via solida ad altre strutture.

Questa può essere nuovamente irradiata dalle strutture eccitate nell'ambiente di ricezione (*flanking transmission*).

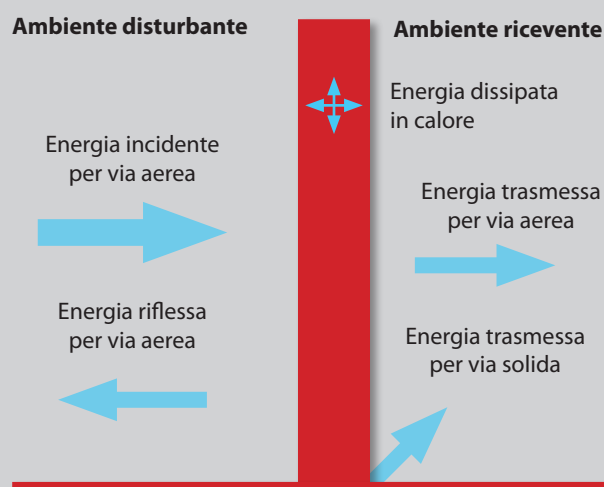



Fig. 7 - Trasmissione acustica.

La norma ISO 31-7 prevede l'esistenza di quattro coefficienti:

- ***coefficiente di dissipazione*** δ: rapporto tra la potenza sonora dissipata e potenza sonora incidente;
- ***coefficiente di trasmissione*** τ: rapporto tra la potenza sonora trasmessa e potenza sonora incidente;
- ***coefficiente di assorbimento*** α: rapporto tra potenza sonora assorbita e potenza sonora incidente. Vale la seguente relazione:

$$\alpha = \delta + \tau$$

- ***coefficiente di riflessione*** r: rapporto tra la potenza sonora riflessa e la potenza sonora incidente. Vale la seguente relazione:

$$r + \delta + \tau = r + \alpha = 1$$

2.1 Il coefficiente di trasmissione

Il coefficiente di trasmissione è il rapporto tra la potenza sonora trasmessa e la potenza sonora incidente, ma siccome l'intensità sonora è definita come la potenza che fluisce attraverso una superficie di area unitaria perpendicolare alla direzione di propagazione dell'onda, il coefficiente di trasmissione τ può essere espresso anche come il rapporto tra l'intensità sonora trasmessa e quella incidente:

$$\tau(\theta) = \frac{I_t(\theta)}{I_i(\theta)}$$

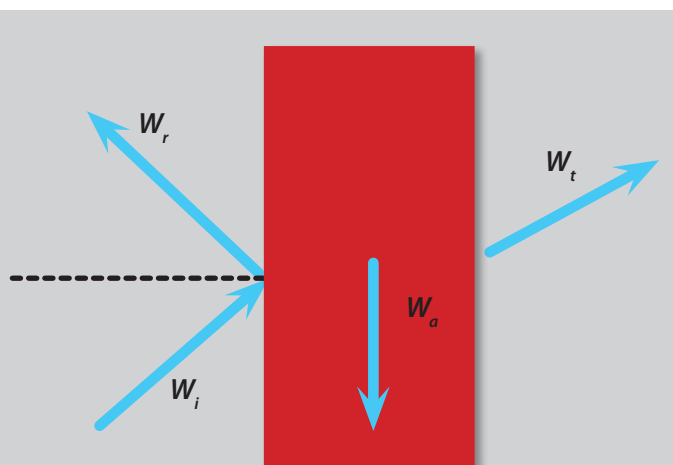



Fig. 8 - Ripartizione della potenza sonora.

da questa relazione si nota come questo coefficiente dipenda dall'angolo di incidenza θ, misurato rispetto alla normale alla superficie del divisorio.

Inoltre, τ è utilizzato anche per definire il concetto di potere fonoisolante R[Nota 2] di una qualunque superficie divisoria, grandezza logaritmica espressa in dB:

$$R(\theta) = 10 \log \frac{1}{\tau(\theta)}$$

nel caso in cui il fronte acustico incida sull'elemento in direzione normale alla superficie, quindi con θ = 0, si definisce il potere fonoisolante per incidenza normale. In realtà i fronti d'onda incidono sull'elemento da molti angoli contemporaneamente, quindi per tenerne conto è necessario effettuare una media sull'angolo di incidenza.

2.2 Il coefficiente di assorbimento

Le proprietà assorbenti dei materiali sono quantificate attraverso il coefficiente di assorbimento acustico α, che è definito come il rapporto tra la potenza acustica assorbita e la potenza sonora incidente:

$$\alpha = \frac{W_a}{W_i}$$

Il valore di α rappresenta quindi la frazione di energia sonora assorbita da un determinato materiale e può variare da 0, nel caso in cui tutta l'energia venga riflessa, a 1, nel caso in cui tutta l'energia venga assorbita. In figura 8, si può notare il fenomeno ripartizione della potenza sonora incidente: una parte viene riflessa (W_r), una parte viene assorbita (W_a) e una parte viene trasmessa (W_t).

Per uno stesso tipo di materiale, il valore del coefficiente di assorbimento può variare in base al valore della frequenza e dell'angolo di incidenza dell'onda acustica. Per questo motivo i coefficienti di assorbimento sono espressi in funzione della frequenza in banda di ottava o di 1/3 di ottava[Nota 3].

Nota 2 - in inglese Transmission Loss, TL.
Nota 3 - Nelle schede tecniche fornite dai produttori compare spesso il coefficiente di riduzione del rumore ***NRC***, *Noise Reduction Coefficient*, il quale è calcolato mediando i valori di α_{sabin} alle frequenze di 250, 500, 1000, e 2000 Hz. In alternativa si utilizza il coefficiente di assorbimento acustico ponderato α_w ottenuto mediante confronto con una curva di riferimento secondo il metodo indicato dalla norma UNI EN ISO 11654.

2.3 Determinazione del coefficiente di assorbimento

La misura in laboratorio dei valori dei coefficienti di assorbimento acustico avviene solitamente con due metodi:

- per incidenza diffusa in camera riverberante
- per incidenza normale in tubo a onde stazionarie

Il principio di misura per ***incidenza diffusa*** consiste nell'effettuare la misura del tempo di riverberazione in una camera riverberante, che secondo la norma UNI EN 20354 deve essere di superficie non inferiore a 10 m^2, con e senza il campione in esame. I risultati delle due misure vengono poi elaborati in modo da ottenere i valori di α in funzione della frequenza. La norma specifica, inoltre, i requisiti fondamentali della camera riverberante come il volume, maggiore di 150 m^3, e la lunghezza massima interna l_{max}, minore di 1,9 $V^{1/3}$.

La misura dei tempi di riverberazione viene eseguita per bande di 1/3 d'ottava nel campo di frequenze compreso tra 100 Hz e 5 kHz, inviando a un sistema di altoparlanti sistemato nella camera un rumore bianco, che viene periodicamente interrotto per permettere la misura del tempo di decadimento del segnale. Il segnale deve essere rilevato in almeno tre postazioni microfoniche fisse (distanti tra loro $\lambda/2$, a 1 m dal campione e a 2 m dalla sorgente) e inviato a un analizzatore digitale, che attraverso l'elaborazione di una serie di multispettri provvede a calcolare il tempo di riverberazione. L'area di assorbimento equivalente del materiale si ottiene tramite la seguente formula:

$$A = 55{,}3 \cdot \frac{V}{v} \cdot \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$$

dove T_1 è il tempo di riverberazione della camera vuota, T_2 è il tempo di riverberazione della camera contenente il campione, V è il volume della camera e v è la velocità di propagazione del suono nell'aria.

Il secondo metodo si basa sull'utilizzo di un tubo alle cui estremità vengono collocate una sorgente e un campione di prova. Il principio di misura consiste nella rilevazione, in termini di pressione sonora, dell'andamento dell'onda piana stazionaria che si crea nel tubo, a causa della sovrapposizione di un'onda incidente con l'onda riflessa dal campione in esame.

2.4 Tipologie di assorbimento

L'assorbimento acustico di un materiale avviene grazie alla conversione in calore di parte dell'energia incidente, anche se, nella realtà, è un meccanismo molto più complesso.

I principi attraverso cui un sistema assorbe energia sonora si possono suddividere in tre classi:

- assorbimento per ***porosità***;
- assorbimento per ***risonanza di membrana***;
- assorbimento per ***risonanza di cavità***.

2.4.1 Assorbimento per porosità

L'assorbimento acustico di questa classe è dovuto al fenomeno della viscosità: la dissipazione dell'onda sonora avviene per trasformazione del suono in energia cinetica nel momento in cui viene attraversato il materiale. La superficie di un elemento è tanto più assorbente quanto maggiore e la sua capacità di trasformare l'energia sonora incidente in calore per attrito delle microcavità del materiale. I materiali migliori sono quelli porosi e fibrosi come: lana di vetro, lana di roccia, schiume di poliuretano espanso a celle aperte e feltri. Per questo tipo di materiali, il coefficiente di assorbimento dipende da:

- porosità;
- spessore;
- densità;
- forma;
- frequenza del suono incidente.

L'assorbimento per porosità risulta elevato alle frequenze medie e medio-alte, mentre per ottenere un significativo smorzamento delle basse frequenze è necessario l'utilizzo di spessori elevati di materiale. Per un uso efficace di un materiale fonoassorbente è necessario distanziarlo di qualche centimetro (tra 5 e 30 cm) dagli elementi strutturali piani.

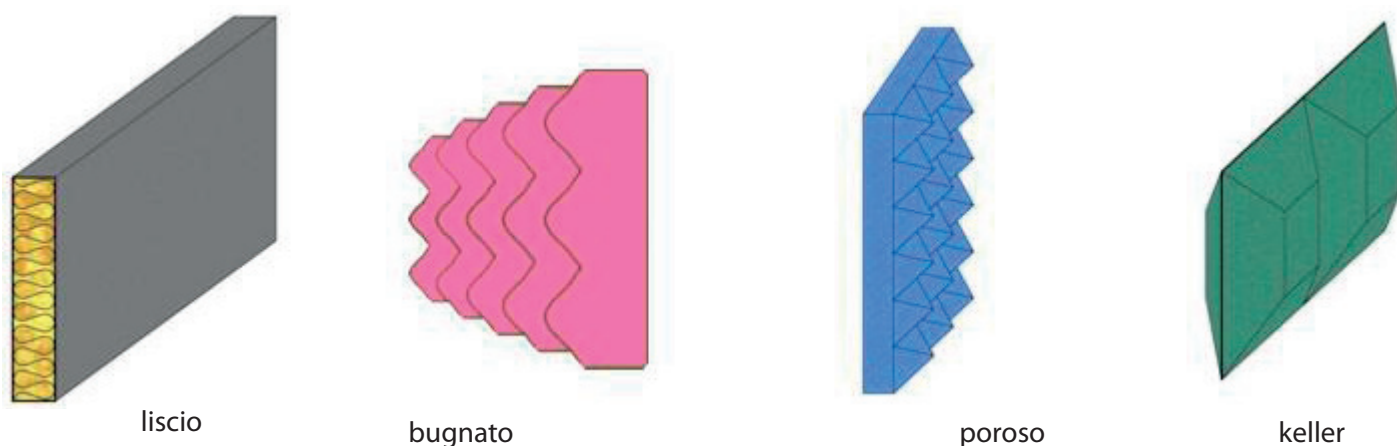



Fig. 9 - Tipologie di materiale poroso.

Per aumentare il potere fonoisolante dei materiali porosi è consigliabile utilizzare materiale sagomato. In questo modo aumenta la superficie di contatto con l'onda sonora e quindi si ha una migliore dissipazione in energia cinetica (figura 9).

Come detto lo spessore del materiale condiziona molto la quantità di energia sottratta all'onda incidente. In prossimità di una parete rigida, il primo punto corrispondente al massimo della velocità di pressione delle particelle si trova a una distanza di $\lambda/4$ (figura 10) dalla parete (distanza corrispondente alla massima ampiezza dell'onda da trattare). Da questo si deduce che α è crescente all'aumentare dello spessore per le basse frequenze, mentre cresce in misura poco significativa per le alte frequenze.

Molto spesso per migliorare l'efficienza del materiale alle frequenze medio-basse, si interpone un'intercapedine d'aria tra le superfici da trattare e il pannello assorbente, il quale dovrà essere collocato a una distanza dalla superficie corrispondente al massimo dell'ampiezza dell'onda sonora (cioè a $\lambda/4$).

Una soluzione alternativa consiste nell'utilizzare materiali porosi con una maggiore densità, come il poliuretano espanso (massa: 30 kg/m^3 ca.) o lane minerali con densità fino a 100 kg/m^3.

2.4.2 Assorbimento per risonanza di membrana

Questo tipo di assorbimento avviene tramite il posizionamento di un pannello di buona densità a una distanza di qualche decina di centimetri dalla parete, in modo che lo smorzamento si verifichi tramite un sistema massa-aria-massa che entra in gioco per realizzare prestazioni di tipo fonoisolante. Il pannello risuona alla sua frequenza di coincidenza e l'energia sonora viene smorzata dal cuscino d'aria retrostante. L'efficacia di questo sistema è limitata all'assorbimento delle frequenze per le quali avviene la risonanza. Tuttavia è sufficiente inserire

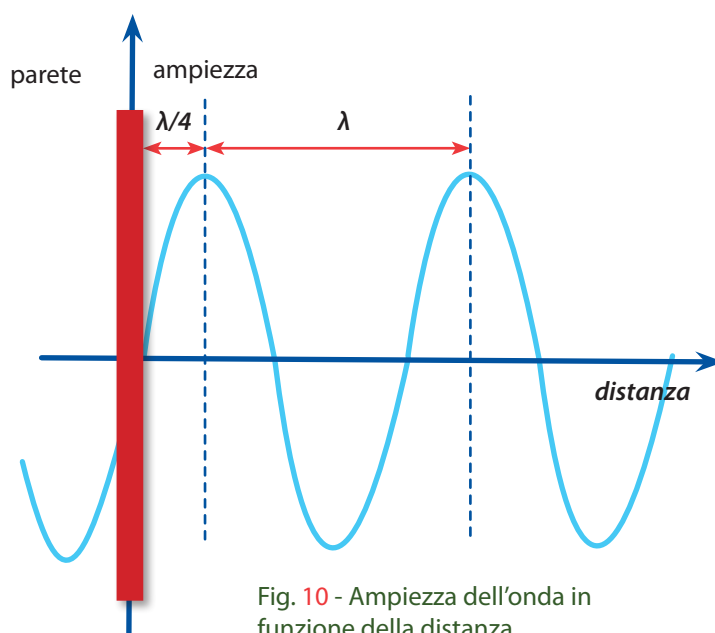



Fig. 10 - Ampiezza dell'onda in funzione della distanza.

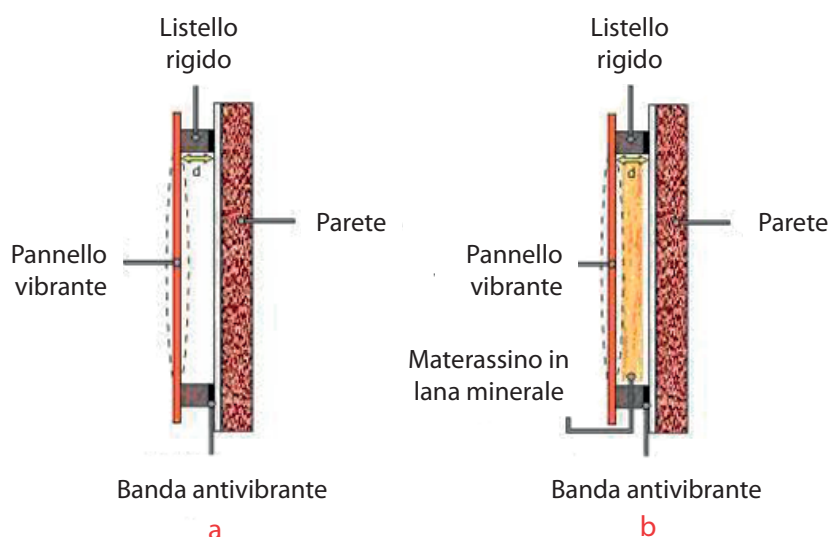



Fig. 11 - Sistemi fonoassorbenti per risonanza di membrana: sistema semplice (a) e sistema con interposto materiale poroso (b).

del materiale fonoassorbente di tipo poroso o fibroso nell'intercapedine, per aumentare l'efficacia fonoassorbente su una gamma sonora più ampia (figura 11).

2.4.3 Assorbimento per risonanza di cavità

Per realizzare questo tipo di risonanza si utilizzano delle strutture costituite da pannelli di materiale non poroso (come una lastra di gesso) sui quali vengono praticati dei fori di opportune dimensioni e tali pannelli vengono montati a una certa distanza dalla superficie da trattare.

L'assorbimento avviene per viscosità che si realizza all'imboccatura di un'area cava all'interno del materiale, secondo il concetto del risonatore di Helmotz[Nota 5] (figura 12). La massa d'aria contenuta nei fori del pannello costituisce, con il volume d'aria dell'intercapedine retrostante, un sistema meccanico del tipo massa-molla, dotato quindi di una sua frequenza di risonanza, in corrispondenza della quale il sistema è in grado di assorbire una considerevole parte di energia.

L'assorbimento di un risonatore di questo tipo è molto selettivo intorno alla frequenza di risonanza e quindi particolarmente efficace nel caso di toni puri di bassa frequenza compresi tra 50 e 400 Hz.

Nota 5 - la risonanza di Helmholtz è il fenomeno di risonanza dell'aria in una cavità.

Nel caso in cui l'interno del materiale venga rivestito con materiale assorbente poroso, il valore del coefficiente di assorbimento alla frequenza di risonanza diminuisce, ma si allarga l'intervallo di frequenze in cui l'assorbimento è efficace. La frequenza di risonanza di questo tipo di pannelli è data dalla seguente relazione:

$$f_0 = \frac{v}{2\pi}\sqrt{\frac{P}{D \cdot L}}$$

dove ***P*** rappresenta la percentuale di foratura, ***v*** è la velocità di propagazione del suono, ***D*** è la distanza dalla parete (spessore dell'eventuale materiale poroso e dell'intercapedine) e ***L*** corrisponde alla lunghezza del collo del risonatore.

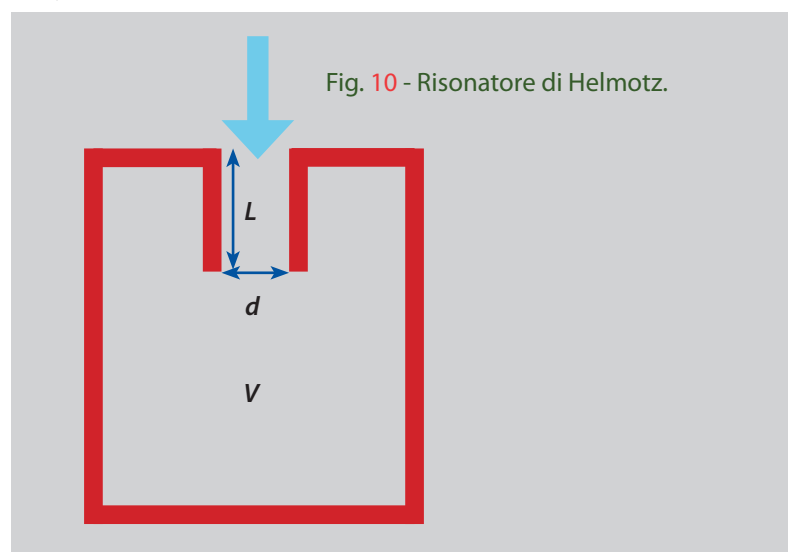



Fig. 10 - Risonatore di Helmotz.

2.5 Classificazione dei materiali

I materiali utilizzati nel trattamento acustico degli ambienti vengono normalmente classificati in due categorie: fonoisolanti, quando sono caratterizzati dalla possibilità di minimizzare la potenza sonora trasmessa, e fonoassorbenti, che tendono a minimizzare la potenza riflessa.

I materiali fonoisolanti considerano, oltre al coefficiente di trasmissione, anche un parametro detto ***potere fonoisolante*** (***R***) espresso in dB, a cui viene associato lo stesso coefficiente di trasmissione ***t***:

$$R = 10\log\left(\frac{1}{t}\right)$$

Analizzando il comportamento dei materiali fonoisolanti in funzione della frequenza e del potere fonoisolante, si possono individuare quattro regioni di comportamento (figura 13):

- ***regione di rigidità*** del pannello: in cui il potere fonoisolante diminuisce di 6 dB/ottava;
- ***regione di risonanza***;
- ***regione di massa*** del pannello: in cui il potere fonoisolante aumenta di 6 dB/ottava;
- ***regione di coincidenza***: l'effetto diminuisce il potere fonoisolante del materiale.

Questa tipologia di materiali viene utilizzata soprattutto per determinate zone di una stanza come ad esempio il pavimento, in modo da attenuare sia le vibrazioni prodotte dalle onde sonore, ma anche quelle prodotte dai vari componenti presenti nella stanza.

I materiali fonoassorbenti, invece, sono utilizzati per controllare le riflessioni indesiderate, il riverbero e il rumore e generalmente sono caratterizzati da una bassa densità. Nell'ipotesi di campo acustico riverberante, il valore dell'attenuazione del livello sonoro (***DL***) espresso in dB conseguente all'installazione di materiale fonoassorbente sulle pareti vale:

$$DL(f) = 10\log\left(\frac{A_2}{A_1}\right)$$

dove ***A*** indica l'area equivalente di assorbimento data dalla relazione $\Sigma\, \alpha_i \cdot S_i$ (S_i indica l'i-esima superficie e α_i l'i-esimo coefficiente di assorbimento), mentre i pedici indicano l'area equivalente prima e dopo il trattamento acustico. A loro volta i materiali fonoassorbenti si dividono in quattro categorie:

- ***Porosi***: l'assorbimento è determinato dalla conversione in calore dell'energia meccanica trasportata dall'onda incidente e dipende da fattori come lo spessore del materiale e il posizionamento rispetto alla parete. Alcuni materiali

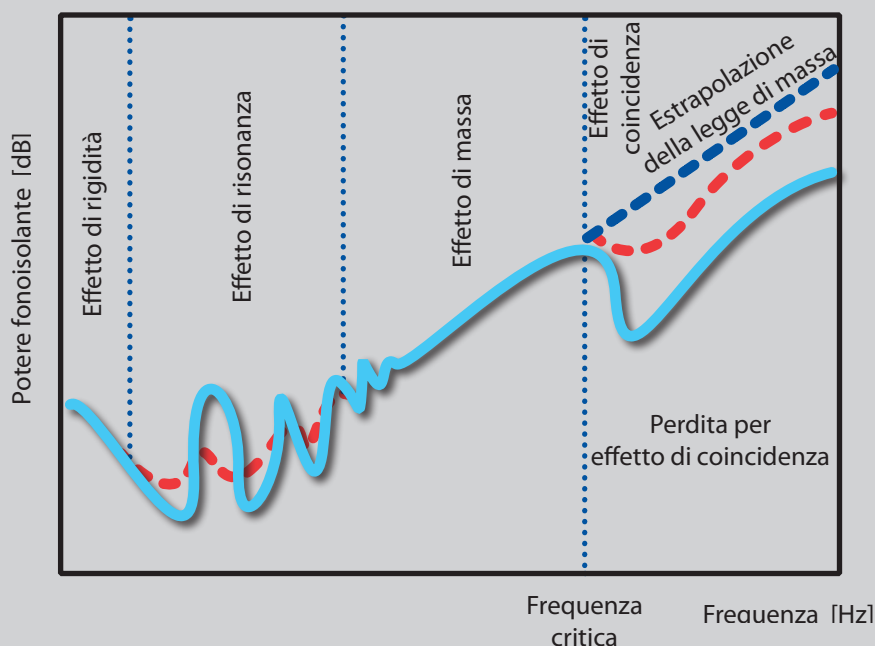



Fig. 13 - Comportamento dei materiali fonoisolanti. Sono messi a confronto gli andamenti della curva reale (continua), quella auspicabile (tratteggiata) e la estrapolazione della legge di massa.

di questo tipo sono lane di vetro e di roccia, schiume di poliuretano espanso a celle aperte, fibre di legno e feltri.

- ***Risonatori acustici***: sono schematizzabili come una cavità comunicante con l'esterno attraverso un foro praticato su una parete (detto collo). Quando l'onda colpisce l'ingresso del risonatore, l'aria contenuta in esso si comporta come un pistone, mentre quella contenuta nella cavità funge da elemento elastico del sistema. La frequenza di risonanza del risonatore è pari a:

$$f_0 = \frac{v}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{r^2}{V \cdot \left(l + \frac{\pi}{2r} \right)}}$$

dove ***r*** ed ***l*** sono rispettivamente il raggio e la lunghezza del collo del risonatore, mentre V è il volume d'aria contenuto nella cavità. Se la frequenza dell'onda incidente è approssimabile a quella di risonanza, la velocità delle particelle d'aria contenute nel collo assume valori elevati e l'effetto dei fenomeni dissipativi raggiunge il suo massimo con conseguente assorbimento. Se, invece, la frequenza dell'onda incidente è diversa da quella di risonanza, l'onda non esercita alcuna influenza sul risonatore, che diventa quindi un assorbitore molto selettivo.

- ***Pannelli vibranti***: sono composti da pannelli rigidi piani disposti in modo parallelo a una certa distanza dalla parete. Questo sistema può anche essere pensato come una massa oscillante accoppiata a un elemento elastico con un certo smorzamento.

La frequenza di risonanza di un pannello vibrante vale:

$$f_0 = \frac{60}{\sqrt{d \cdot \sigma}}$$

dove ***d*** indica la distanza del pannello dalla parete, mentre ***σ*** indica la densità superficiale del pannello espressa in kg/m^2.

- ***Sistemi misti***: sono costituiti da lastre rigide posizionate a una certa distanza dalla parete (a seconda dell'effetto che si vuole ottenere). Sulla superficie delle lastre vengono praticati dei fori di diverse dimensioni. L'intercapedine che si viene a creare posizionando le lastre può essere riempita con del materiale poroso in modo da aumentare il livello di assorbimento complessivo.

2.6 Trattamento acustico delle sale di piccole dimensioni

A differenza dei grandi ambienti, in cui il problema maggiore è realizzare una struttura diffusiva in grado di far sì che la resa acustica sia accettabile in ogni singolo punto, nei piccoli ambienti bisogna cercare di limitare tutti i fenomeni in grado di compromettere la qualità del suono riprodotto, come ad esempio la creazione di onde stazionarie o un'eccessiva riflessione. Per questo motivo, risulta fondamentale agire in modo opportuno su qualsiasi elemento architettonico della stanza: pavimento, soffitto, pareti, porte e, eventualmente, finestre.

É necessario, inoltre, tener sempre conto del tipo di applicazione per cui si realizza un ambiente e soprattutto del tipo di suono che verrà riprodotto al suo interno. Quindi, l'uso ai fini acustici di una superficie può essere effettuato privilegiando, per ciascuna superficie, una o più modalità di interazione:

- l'***assorbimento*** è utile quando si deve estrarre energia sonora in eccesso dal campo sonoro, in modo da controllare il riverbero complessivo;
- la ***riflessione speculare*** si utilizza quando è necessario indirizzare un'onda secondo una direzione particolare in modo da rafforzare la percezione del suono diretto in un certo punto della sala;
- la ***riflessione diffusa*** è, invece, utile quando è necessario ridurre le riflessioni speculari senza utilizzare materiali fonoassorbenti aggiuntivi che impoverirebbero il campo sonoro.

É da notare, inoltre, come la gestione di pavimento e soffitto sia la più complessa, sia per il fatto che difficilmente si possono fare correzioni acustiche

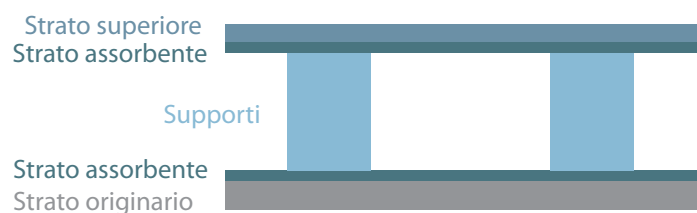



Fig. 14 - Possibile realizzazione del pavimento.

Fig. 15 - Ammortizzatore.

Fig. 16 - Soluzione alternativa per il pavimento.

Fig. 17 - Finestra per uno studio di registrazione.

successive alla loro realizzazione, cosa che è possibile invece fare con le pareti aggiungendo diversi tipi di componenti, ma anche perchè è molto difficile spezzare in modo efficace la simmetria e il loro parallelismo.

Di seguito vengono evidenziate alcune possibili soluzioni per le varie parti di una stanza.

- ✓ ***Pavimento***: ha il compito fondamentale di ridurre al minimo le vibrazioni prodotte dal calpestio e dalla strumentazione presente nella stanza, oltre ovviamente a contribuire all'assorbimento acustico. Nel caso in cui sia possibile agire a livello strutturale (modificando quindi la conformazione vera e propria del pavimento) esistono due tecniche che si differenziano principalmente per costo e versatilità, in caso contrario è necessario concentrarsi sui materiali e sulle loro capacità di assorbire le onde sonore.

  La prima soluzione consiste nel realizzare una struttura "a strati" (figura 14), ovvero partendo dal pavimento originario si colloca uno strato di materiale in grado di assorbire le vibrazioni trasmesse dal pavimento base (come ad esempio il neoprene).

  Successivamente si collocano delle strutture di sostegno in modo da creare un'intercapedine vuota tra lo strato inferiore e quello superiore; queste strutture possono essere semplici assi di legno o meglio ancora elementi ammortizzatori (figura 15) i quali contribuiscono sia alla realizzazione dell'intercapedine sia alla gestione delle vibrazioni complessive.

  Al di sopra si colloca un ulteriore strato di materiale assorbente per gestire le vibrazioni prodotte dalla superficie calpestabile, che può ad esempio essere di legno (parquet). Grazie a questa struttura, l'aria contenuta nell'intercapedine svolge il ruolo di isolante.

  Una soluzione più complessa e costosa da realizzare, ma allo stesso tempo migliore di quella appena descritta, consiste nel realizzare un pavimento sospeso (figura 16), ma con un procedimento differente. Infatti, sopra al pavimento originario viene collocato quello calpestabile con delle grosse viti

all'interno. In questo modo è possibile alzare o abbassare il pavimento a piacere, offrendo anche la possibilità di aumentare o diminuire la quantità d'aria nell'intercapedine.

Nel caso in cui non sia possibile agire a livello strutturale è necessario scegliere in modo adeguato i materiali con i quali rivestire la superficie di base.

Una possibile soluzione consiste nello stendere uno strato di materiale fonoisolante, come il feltro di poliestere e i materassini in polietilene direttamente sul pavimento, in modo da assorbire le vibrazioni da calpestio. Al di sopra la scelta dei materiali può essere duplice. Una soluzione consiste nell'utilizzare una moquette di spessore di circa 8 mm costituita da poliammide al 100%, con un coefficiente di assorbimento sotto a 0,5 alle alte frequenze; questa soluzione ha il vantaggio di evitare le riflessioni accoppiate tra soffitto e pavimento, ma ha il problema di assorbire prevalentemente le frequenze medio-alte, con la necessità di utilizzare soluzioni nella stanza per catturare le basse frequenze. La seconda soluzione consiste, invece, nell'utilizzo di un materiale simile a quello di un tappeto cordato con massa superficiale di circa 5÷8 mm e superficie inferiore in gomma, in modo da assorbire almeno in parte le basse frequenze. Il parametro legato allo spessore del materiale non è da sottovalutare, in quanto in base allo spessore si può scegliere il grado di assorbimento.

- ✓ ***Soffitto***: come per il pavimento, la soluzione migliore consiste nella creazione di un'intercapedine d'aria tramite la sospensione di un secondo strato attraverso dei ganci. Volendo aumentare il grado di assorbimento è sufficiente aggiungere del materiale fonoassorbente all'interno della cavità.
- ✓ ***Pareti***: è fondamentale cercare di ridurre il più possibile il parallelismo e la regolarità tra il lati, in modo da evitare la presenza di modi assiali con conseguente generazione di onde stazionarie che comporterebbero un peggioramento della resa sonora complessiva. Anche in questo caso è possibile agire in diversi modi più o meno "invasivi". A livello strutturale, si può agire in modo simile a quanto detto per soffitto e pavimento, isolando le pareti esterne dagli altri elementi architettonici, inserendo del materiale fonoassorbente tra la superficie di base e quella aggiunta. In caso non sia possibile, per quanto riguarda l'assorbimento basta ricoprire la parete con un materiale fonoassorbente avente un coefficiente di assorbimento più o meno elevato, a seconda dell'effetto che si vuole ottenere, mentre per quanto riguarda la riduzione della regolarità e la gestione delle riflessioni si possono utilizzare componenti come bass traps e diffusori (che verranno trattati in seguito), che oltre ad agire a livello geometrico spezzando il parallelismo, consentono anche di gestire le basse frequenze e controllare i percorsi delle onde sonore.
- ✓ ***Porte***: anche sulle porte è possibile agire in modo da isolare l'interno dell'ambiente dall'esterno. Una possibile soluzione consiste nel creare una doppia porta in modo da interrompere la trasmissione del suono sigillando ogni fessura con delle guide di gomma.
- ✓ ***Finestre***: sono elementi che possono incidere molto sulla scena sonora in quanto favoriscono le riflessioni. Per questo motivo o si ricopre il vetro con un materiale fonoassorbente, oppure si realizza un sistema formato da due vetri di un certo spessore, in modo da creare all'interno l'isolamento acustico, inclinando uno dei due (figura 17) per evitare il parallelismo e quindi un effetto di risonanza. Quest'ultima soluzione viene impiegata soprattutto in ambienti come studi di registrazione in cui è necessario inserire una finestra per comunicare visivamente tra la sala da registrazione e la regia audio.

Bibliografia

- *A. Farina*, "Caratteristiche acustiche dei materiali".
- *Everest F. Alton:* "Manuale di acustica", Milano, Hoepli, 1996.
- *S. Cingolani, R. Spagnolo, Acustica musicale e architettonica, Milano, Città degli studi, 2007.*
- *R. Spagnolo*: "Manuale di acustica applicata", Milano, Città degli studi, 2008.